

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Konstrukční návrh klínového šoupátka  
s celosvařovanou tlakovou obálkou  
a nestoupavým vřetenem**

Construction Design of a Wedge Gate Valve  
with an all Welded Pressure Body  
and a Non- ascending Stem

Student: Maxim Volosjevič

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2019

## Zadání bakalářské práce

Student: **Maxim Volosjevič**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**  
Specializace: **21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení**  
Téma: **Konstrukční návrh klínového šoupátka s celosvařovanou tlakovou obálkou a nestoupavým vřetenem**  
**Construction Design of a Wedge Gate Valve with an all Welded Pressure Body and a Non-ascending Stem**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Navrhnete konstrukci klínového šoupátka DN300 PN100 v přírubovém provedení (příruby dle EN 1759-1), s celosvařovanou tlakovou obálkou a nestoupavým vřetenem. Teplota pracovní látky v rozmezí -15 až 80 °C. Armatura je určena pro přepravu mezního plynu. Proveďte konstrukční návrh a vytvořte 3D model klínového šoupátka. Rozsah výkresové dokumentace bude upřesněn na základě dohody s vedoucím práce.


### Seznam doporučené odborné literatury:

KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3  
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018  
Datum odevzdání: 20.05.2019

  
doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech klínového šoupátka s celosvařenou tlakovou obálkou a nestoupavým vřetenem od firmy MSA, a.s., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 20. května 2019

.....

Maxim Volosjevič

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB- TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB- TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019

.....

Maxim Volosjevič

Maxim Volosjevič

Krátká 176, Borová

747 23 Bolatice

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VOLOSJEVIČ, M. *Konstrukční návrh klínového šoupátka s celosvařovanou tlakovou obálkou a nestoupavým vřetenem: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2019, 51 s. Vedoucí práce: Kubín, T.

Bakalářská práce se zabývá tvorbou konstrukčního návrhu klínového šoupátka. V úvodu je popsáno obecné členění armatur. Na základě původního typu šoupátka byl vytvořen nový typ, na kterém došlo k úpravě klíčových součástí a spojů. Kontrolní výpočty ověřily správnost navržených parametrů šoupátka. V budoucnu je v plánu zařazení nového produktu do výrobního portfolia společnosti. Vytvořený konstrukční návrh je zdokumentován v příloze bakalářské práce.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VOLOSJEVIČ, M. *Construction Design of a Wedge Gate Valve with an all Welded Pressure Body and a Non- ascending Stem: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2019, 51 p. Thesis head: Kubín, T.

Thesis deals with the methodology of creating a design of wedge gate valve. The introduction describes general classification of valves. Based on the original design of gate valve a new one was designed, which had key components and joints modified. Calculations verified the correctness of proposed characteristics. It is planned to include this design in the company's production portfolio in the future. The created design is documented in the annex of this bachelor's thesis.

# Obsah

	strana
Seznam použitých značek a zkratk .....	7
Úvod.....	9
1 Obecné členění armatur .....	10
2 Postup tvorby návrhu klínového šoupátka .....	16
2.1 Původní konstrukční řešení .....	16
2.2 Požadovaná specifikace klínového šoupátka .....	17
2.3 Těleso .....	17
2.4 Víková sestava .....	19
2.5 Sestava výrobku .....	20
2.6 Vřeteno .....	21
2.7 Klín.....	22
2.8 Vřetenová matice .....	23
2.9 Sedlo.....	24
3 Pevnostní kontrola dílu a výpočet celosvařovaného klínového šoupátka .....	25
3.1 Určování rozměru sedel .....	26
3.2 Kontrola vřetene.....	27
3.3 Kontrola klínu .....	33
3.4 Kontrola tělesa .....	37
3.5 Kontrola víka.....	44
3.6 Kontrola svaru “těleso – víko“ .....	45
4 Závěr.....	48
5 Citace.....	50
6 Seznam příloh.....	51

## Seznam použitých značek a zkratek

<i>Zkratka</i>	<i>Význam</i>	<i>Jednotka</i>
$b_z$	$\frac{1}{2}$ šířky závěsu	[mm]
D	Velký průměr závitu matice	[mm]
D <sub>1</sub>	Malý průměr závitu matice	[mm]
D <sub>2</sub>	Střední průměr závitu matice	[mm]
D <sub>zk</sub>	Vnější průměr sedla	[mm]
D <sub>těs</sub>	Těsnicí průměr sedla	[mm]
D <sub>zv</sub>	Velký průměr závěsu vřetene	[mm]
D <sub>vík</sub>	Vnější průměr víka	[mm]
D <sub>svar</sub>	Vnější průměr svaru	[mm]
d	velký průměr závitu	[mm]
d <sub>1</sub>	Malý průměr závitu	[mm]
d <sub>2</sub>	Střední průměr závitu	[mm]
d <sub>3</sub>	Průměr jádra závitu	[mm]
d <sub>3 vř</sub>	Malý průměr závitu vřetene	[mm]
d <sub>prů</sub>	Vnitřní průměr tloušťky tělesa	[mm]
d <sub>př</sub>	Vnitřní průměr příruby víka	[mm]
d <sub>sed</sub>	Vnitřní rozměr sedla	[mm]
d <sub>svar</sub>	Vnitřní průměr svaru	[mm]
d <sub>zav</sub>	Průměr závitu vřetene	[mm]
d <sub>zv</sub>	Malý průměr závěsu vřetene	[mm]
F <sub>ovl</sub>	Ovládací síla	[N]
F <sub>v</sub>	Ovládací síla vřetene	[N]
F <sub>zv</sub>	Ovládací síla závěsu vřetene	[N]
h <sub>n</sub>	Nosná výška	[mm]
h <sub>sed</sub>	Šířka sedla	[mm]
k <sub>ov</sub>	Bezpečnostní faktor pro pohon	[-]
l	Délka závitu	[mm]
l <sub>zav</sub>	Délka závitu	[mm]
M <sub>o</sub>	Ovládací moment	[N.m]
M <sub>v</sub>	Ovládací moment	[N.m]

$P$	Tlak	[MPa]
$P_{dif}$	Diferenční tlak	[MPa]
$P_{tr}$	Dovolené tlačení	[MPa]
$P_{zk}$	Zkušební tlak	[MPa]
$p$	Otlačení závěsu vřetene	[MPa]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$s$	Stoupání závitu	[mm]
$S_{prů.p}$	Tloušťka stěny průtoky-provoz	[mm]
$S_{prů.skut}$	Skutečná tloušťka stěny průtoky	[mm]
$S_{prů.z}$	Tloušťka stěny průtoky-zkouška	[mm]
$S_{př.p}$	Tloušťka stěny příruby-provoz	[mm]
$S_{př.skut}$	Skutečná tloušťka stěny příruby	[mm]
$S_{př.z}$	Tloušťka stěny příruby-zkouška	[mm]
$S_{svar.p}$	Tloušťka svaru pro pracovní tlak	[mm]
$S_{svar.z}$	Tloušťka svaru pro zkušební tlak	[mm]
$S_{vik}$	Tloušťka víka	[mm]
$S_{vik.p}$	Tloušťka stěny víka pro pracovní tlak	[mm]
$S_{vik.z}$	Tloušťka stěny víka pro zkušební tlak	[mm]
$S_z$	Tloušťka závěsu	[mm]
$TRIM$	Materiálové provedení ovl. dílu	[-]
$z$	Počet závitu	[-]
$\sigma_d$	Ověření závěsu klínu na tah	[MPa]
$\sigma_{o.kl}$	Osové napětí závěsu klínu	[MPa]
$\sigma_{o.vř}$	Osové napětí ve vřeteni	[MPa]
$\sigma_{prov}$	Membránové napětí	[MPa]
$\sigma_{red.kl}$	Redukované napětí vřetene	[MPa]
$\sigma_{red.vř}$	Redukované napětí vřetene	[MPa]
$\sigma_{zk}$	Dovolené namáhání	[MPa]
$\tau_d$	Výpočet stříhového namáhání	[MPa]
$\tau_{k.vř}$	Krut ve vřeteni	[MPa]
$\tau_s$	Smykové napětí	[MPa]



## Úvod

Předmětem bakalářské práce je návrh klínového šoupátka s celosvařovanou tlakovou obálkou. Šoupátka se vyrábí ve standartních rozměrových a tlakových řadách. Zákazník může požadovat úpravy některých částí, jako jsou stavební délky, svarové a přírubové konce, barvu, materiál samotného šoupátka i jednotlivých těsnění.

Hlavním cílem bakalářské práce je změna původní konstrukce šroubovaného klínového šoupátka na šoupátko celosvařované. Dílčím cílem je vytvoření návrhu nestoupavého vřetene, a to z důvodů omezeného prostoru nad víkem šoupátka.

Potřebné podklady pro vytvoření praktické části byly poskytnuty firmou MSA, a.s. sídlící v Dolním Benešově. Tato firma má již dlouholetou historii, vznikla v roce 1890. Zaměstnává přibližně 390 pracovníků. Své výrobky, zejména armatury, dodává po celém světě. Převážně se zaměřuje na armatury pro těžbu a zpracování ropy a zemního plynu.

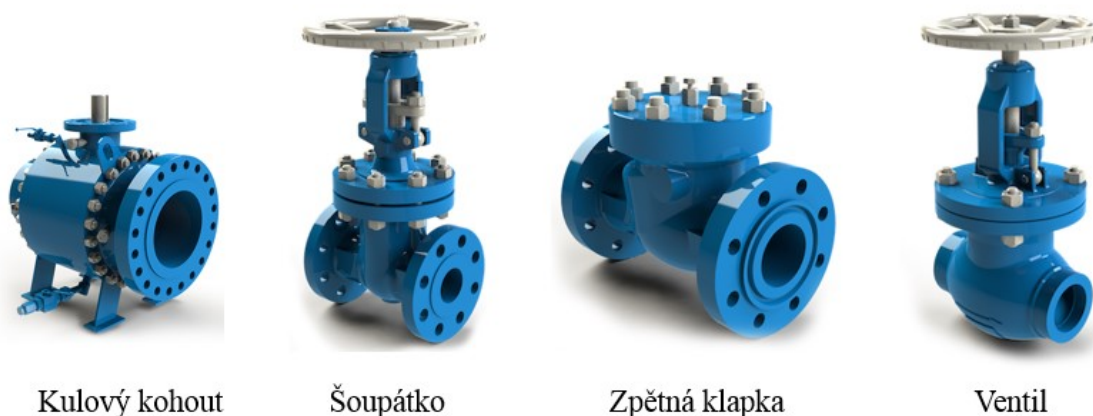
V současné době pracuji v této společnosti na pozici konstruktér kulových kohoutů. Práce vznikla na základě dlouhodobé poptávky odběratelů po tomto typu šoupátka.

# 1 Obecné členění armatur

Průmyslová výroba armatur zaznamenala svůj rozvoj jako samostatné průmyslové odvětví roku 1945. Se zvyšující se poptávkou na výrobu armatur stoupaly i nároky na samotné výrobky. Na armatury byly kladeny stále vyšší požadavky, zejména na jejich funkčnost, neboť jsou kritickými místy mnoha zařízení a uzlů ropovodu a plynovodu. Při vývoji a konstruování nelze spoléhat pouze na vlastní zkušenosti. V některých případech je třeba se uchýlit k experimentální metodě. [1]

Průmyslové armatury jsou využívány především ve strojírenském a energetickém odvětví. Jejich výroba je podmíněna různými činiteli. Podle těchto činitelů vždy volíme armaturu, která je svými vlastnostmi vhodná k danému použití. Obrázek 1.1 zobrazuje základní členění armatur.

Samotná problematika armatur je velice obsáhlá, proto budou v této kapitole popsány pouze základní typy armatur, a to zejména ty, které jsou nejčastěji poptávány zákazníky firmy MSA, a.s.



Obrázek 1.1 – Rozdělení armatur [2]

## Ventily

Ventily se používají zejména v chemických provozech a laboratorních podmínkách. Tento typ armatur je vhodný pro malé světlosti a vysoké tlaky. Jejich konstrukce má poměrně malý zdvih, ovládání je rychlé a nehrozí nebezpečí zadření sedel. Používají se jako regulační armatury. Proudové lité ventily mají menší tlakové ztráty než jejich starší provedení. Ventily se šikmým vřetenem dokážou zmenšit tlakové ztráty. [3] Na obrázku 1.2 je zobrazen proudový ventil.



**Obrázek 1.2 – Ventil [2]**

### **Kulové kohouty**

Kulový kohout se skládá z několika hlavních částí. Jedná se o těleso, víko, koule, sedla a těsnící prvky. Funguje na principu otáčející se průchodné koule ležící mezi dvěma sedly. Koule se otáčí o 90 ° a neslouží jako regulační prvek. Využití je velice rozmanité, nejčastěji se používá v ropovodech a plynovodech. Vyrábí se v jmenovité světlosti (dále jen DN) od 15 do 1400 a v tlaku od 6 do 420 baru. Výhodou kulových uzávěrů jsou pouze nepatrné tlakové ztráty, rychlá manipulace a použití pro znečištěné pracovní látky. U nízkých jmenovitých tlaků je jedno z obou těsnění dotlačováno ke kouli. U velkých DN a tlaků jsou kulové uzávěry otočné v ložiskách a sedla jsou k tělesu koule přitlačována buď pružícími prvky, nebo poměrně složitým pneumatickým systémem. [1] Obrázek 1.3 zobrazuje jeden z typů kulových kohoutů.



**Obrázek 1.3 – Kulový kohout [2]**

## **Zpětné klapky**

Tento typ armatury neslouží jako regulační prvek, jeho účelem použití je jednosměrný tok pracovní látky. Hlavním orgánem je tzv. klapka (obrázek 1.4), která se vyklápí ve směru toku média. V některých případech je zpětná klapka opatřena ramenem se závažím, která vymezuje uzavírací moment. Olejové brzdy se v některých případech používají pro utlumení klapky. Až do největších DN (1200) se vyrábějí zpětné klapky motýlkové, jejichž závěrným orgánem je talíř otočný na hřídeli umístěné mimo osu souměrnosti, takže je proudem pracovní látky automaticky otevírán, při zpětném pohybu uzavírán. [1]



**Obrázek 1.4 – Zpětná klapka [2]**

## Šoupátka

Šoupátka se vyrábějí obvykle od DN 15 až do 1500 mm. Používají se v rozsahu tlaků od 0,6 do 42 MPa. Šoupátka lze díky užití kovových těsnících prvků (na rozdíl od kulových kohoutů) použít při větším rozsahu teplot a tlaků. V některých případech je dávana šoupátkům přednost, a to například při řazení několika armatur za sebou, anebo v případech, kdy ztráty při nasání a výtlaku čerpadel jsou menší. Jejich oválný nebo plochý tvar může mít negativní vliv na samotnou deformaci součástí. Uzavírací armatury musí být dokonale těsné v sedle. Dokonalé těsnosti se dosáhne opakovaným zabrušováním a lapováním sedel, což je pracné a zdlouhavé. Ochrana a konzervace armatur jsou klíčové složky pro dlouhou životnost. [1]

### Druhy šoupátek

Podle účelu použití se vyrábí mnoho konstrukčních provedení šoupátek, které se liší podle účelu použití, pracovních tlaků, teplot a vlastností pracovních látek. [3] Níže jsou rozepsány nejrozšířenější typy armatur. Pro speciální účely se dále vyrábějí šoupátka jednostranně těsnící, kanálová, pro husté hmoty, hutní i další.

### Šoupátka klínová

V případě menších šoupátek tvoří uzavírací část pevný klín. U větších šoupátek je klín pružný, který je schopen se deformovat působením tlaku a lépe dosednout na těsnící plochy sedel. Pro vysoké tlaky a pro páru s vysokou teplotou používáme klíny dělené, u kterých uzavírací část tvoří dvě desky s rozpěrnou čoučkou nebo pomocný klín. Typ klínového šoupátka zobrazuje obrázek 1.5.



Obrázek 1.5 – Šoupátko klínové [2]

## Šoupátka desková

Uzavírací element je paralelní deska s otvorem, která je po celou dobu ovládacího cyklu v kontaktu se sedly. Armatura není vhodná pro pracovní média, která obsahují velké množství pevných částic. Při uzavírání desky může dojít k deformaci desky a sedel, kdy tvrdá částice nebude přestřižená. Na obrázku 1.6 je zobrazeno deskové šoupátko.



Obrázek 1.6 – Šoupátko deskové [2]

## Šoupátka paralelní

Od klínových šoupátek se liší v principu uzavírání. Uzavírání tvoří dvě desky přitlačované k těsnícím kroužkům sedel. Jsou přitlačovány buď pracovním tlakem, pružinou nebo klínovým ústrojím. Paralelní šoupátko je vyobrazeno na obrázku 1.7.



Obrázek 1.7 – Šoupátko paralelní [2]

## **Způsob připojení**

Existují dva typy připojení. Nejběžnější připojení jsou přírubové, které volíme podle normy požadované zákazníkem a pracovních tlaků. Druhá varianta připojení je přivařovací připojení. Taktéž jsou voleny podle profilu potrubí, technických podmínek a požadavků zákazníka. Přivařovací typ připojení je lehčí a pro výrobu jednodušší.

## **Materiály**

Při volbě materiálu je dbáno především na zásadu hospodárnosti. To znamená, že materiálové provedení šoupátka nesmí být zbytečně předimenzováno a zároveň ani příliš úsporné, což může mít vliv na poruchovost. Materiálovou variantu volí především výrobce, který se opírá o zkušenosti s konstruováním i o výsledky výzkumu. Volba materiálu armatury se všeobecně řídí podle vlastností a chování média proudícího v potrubí. Záleží také na chemickém složení a tlaku tohoto proudícího média. Z výše uvedeného volíme z těchto hlavních skupin materiálu: šedá litina, očkovaná litina, barevné kovy, uhlíková ocel na odlitky, kovaná ocel, oceli litinové na odlitky i na výkovky.

## **Pokyny pro volbu**

Výše uvedené druhy šoupátek jsou pouze demonstrativní. Zákazník si dle vlastních požadavků volí vlastní druhy šoupátek, které jsou uvedeny ve výrobním katalogu firmy. Výrobce poté volí materiálové provedení šoupátka, vhodné těsnicí prvky odpovídající použitému médiu a provoznímu tlaku a také klimatickým podmínkám, ve kterých bude výrobek používán. Zejména u šoupátek pro vyšší tlaky, je skutečná světlost menší než světlost jmenovitá. Skutečná světlost odpovídá skutečné světlosti připojovacího potrubí. Vnější průměr trubek, není závislý na jmenovitém tlaku, je konstantní. Roste pouze tloušťka stěny trubky.

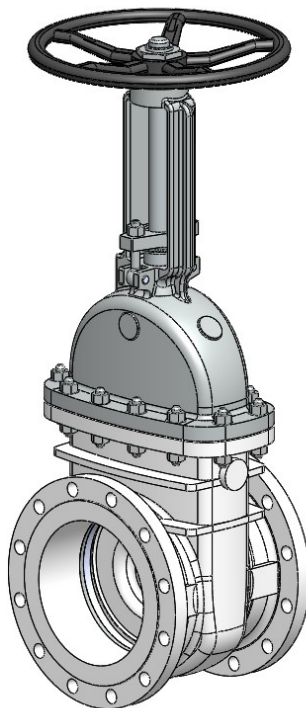
Vysokotlaká šoupátka mají z konstrukčních důvodů zúžený průtok ve střední části tělesa.

Výsledkem této redukce je podstatné zmenšení osově síly ve vřetení i sporné konstrukce šoupátka. Zúžením průtoku se sice zvětší odporový součinitel šoupátka, avšak tato nevýhoda není rozhodující; odporový součinitel je i u šoupátek se zúženým průtokem menší než u ventilu. [3]

## 2 Postup tvorby návrhu klínového šoupátka

### 2.1 Původní konstrukční řešení

Výchozím podkladem pro vývoj klínového šoupátka s celosvařovanou tlakovou obálkou a nestoupavým vřetenem (obrázek 2.1) jsem zvolil léty prověřené klínové šoupátko se šroubovaným víkem a stoupavým vřetenem dle normy API Std. 600. Šroubované šoupátko je tvořeno tělesem a víkem, které je v tomto případě spojeno šrouby a maticemi. Mezi tělesem a víkem je těsnicím prvkem ploché těsnění, které jsem zvolil dle pracovních teplot a pracovního média. Tyto šoupátka mají nedělený klín, tvar tělesa je oválný. Vřeteno má na svém konci ruční kolo, které je připevněno k matici a přenáší točivý moment na vřeteno. Dále může být uzpůsobeno i na připojení k převodovému ústrojí nebo pneupohonu. Vřeteno je netočivé, stoupavé a utěsněné ucpávkou. Klín je oboustranně vedený, tím je zabráněno nežádoucím vibracím. Ve víku se nachází odvzdušňovací otvor, taktéž v tělese nalezneme odkalovací otvor. Šroubované šoupátko má připojovací příruby dle normy s vrtanými, hrubě obrobenými těsnicími lištami. Dle požadavků zákazníků mohou být zvoleny konce přivařovací, popřípadě dle jiné normy.

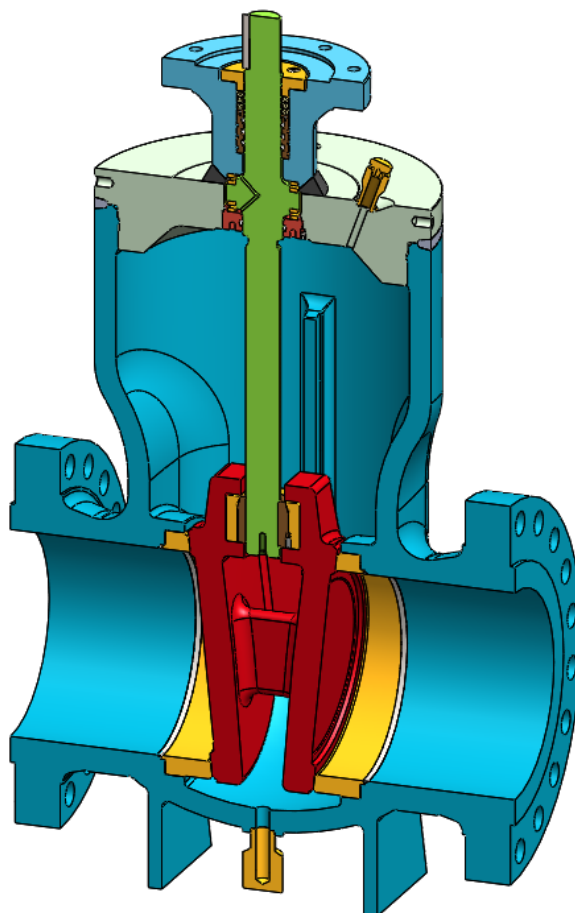


Obrázek 2.1 – Klínové šoupátko



## 2.2 Požadovaná specifikace klínového šoupátka

Řešené šoupátko DN 300 PN 100 vychází ze základních norem, základních směrnic a specifikací: konstrukční provedení šoupátka je navrženo dle normy EN 14141 a API Std. 600, tlaková třída dle normy EN 13942, tlako-teplotní systém dle normy EN 12516-1, stavební délky přírubového provedení určují dle normy EN 558 série 26, přírubové připojovací rozměry dle normy EN 1759-1, hladká lišta typ 11 (obrázek 2.2). Plášť armatury (těleso-víko) musí být plně svařen. Požadavkem je vytvoření celosvařovaného, bezúdržbového šoupátka s nestoupavým vřetenem.

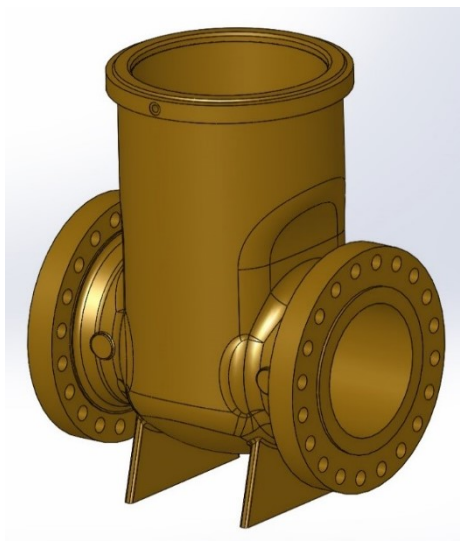


Obrázek 2.2 – Řez klínového šoupátka

## 2.3 Těleso

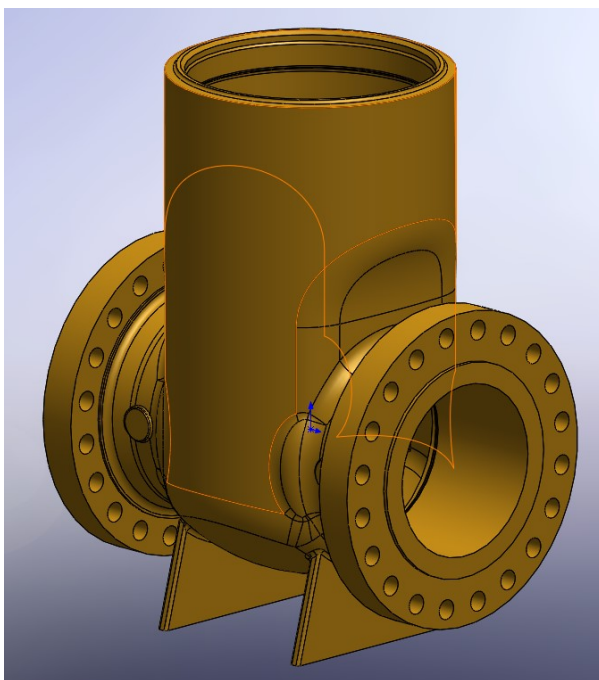
Těleso je zhotoveno z lité oceli G20Mn5 (1.6220) dle EN 10213. Jedná se o plnopřítočnou součást. Rozměry tělesa jsou podloženy zkušebními výpočty v bodě 3.4. V prvotním návrhu jsem těleso vybavil límcem (viz obrázek 2.3), který je využit pro zachycení přípravku zabezpečující spojení tělesa a víka při prvotní zkoušce těsnosti uzávěru.

Svarovou úpravu jsem navrhl na automatické nebo poloautomatické provedení svaru. Šoupátko bylo vybaveno patkami a zvedacími oky. Zvedací oka jsem řešil našroubováním a přivařením do vrchního límce tělesa. Patky byly integrované s tělesem.



**Obrázek 2.3 – Prvotní návrh tělesa**

U finálního návrhu jsem z tělesa odstranil límec pro zkušební přípravek a dále jsem zhotovil závit pro montáž s víkem. Zvedací čepy jsem nahradil normalizovanými zvedacími oky, která jsou přemístěny na víko. Finální návrh tělesa je na obrázku 2.4.



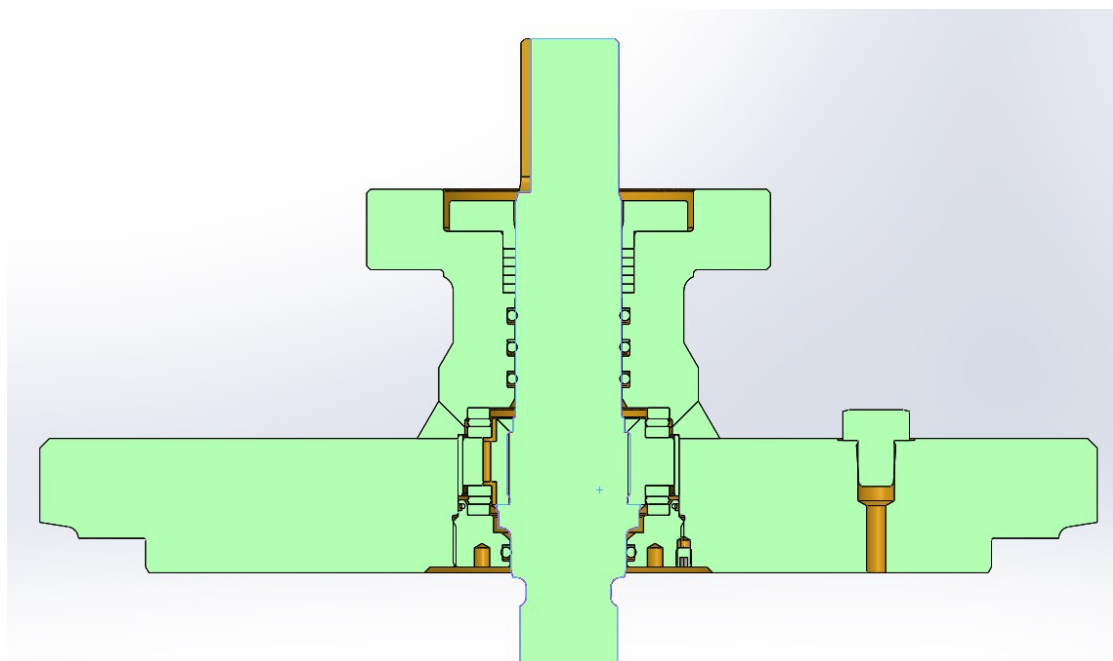
**Obrázek 2.4 – Konečný návrh tělesa**

## 2.4 Víková sestava

V prvotním návrhu víkové sestavy jsem navrhl svařenec s prostorem pro uložení vřetene a ucpávkových kroužků. Točivý, nestoupající pohyb vřetene zabezpečovaly dvě jehlová ložiska viz obrázek 2.5. Tento typ ložiska jsem zvolil z důvodů vyšší statické únosnosti při menších rozměrech. Použití jiného typu ložiska ovlivňovalo nejen velikost polotovaru víka, ale také vřetene.

Ucpávkovou komoru jsem navrhl se třemi nezávislými úrovněmi těsnění. Dále byla doplněna grafitovým těsněním splňujícím požadavky na ohnivzdornost dle normy API 6FA. Sada těsniva byla tvořená pěti grafitovými šňůrami a mechanicky dotlačována ucpávkovým víkem na hodnotu, kterou stanovil výrobce těsniva.

Víko bylo vyrobeno z plechu P355NL1.



Obrázek 2.5 – Řez víkové sestavy

U finálního řešení, po konzultaci s dodavatelem grafitového těsnění ucpávky, jsem zvolil profil kroužku 11,1 x 11,1 mm. Ucpávkový prostor je navržen s ohledem na normu API 600.

V konečném návrhu má víková sestava tři nezávislé úrovně těsnění, rozdělené bronzovou vyměnitelnou vložkou, která je na vnějším průměru těsněná třemi staticky namáhanými o-kroužky. Na vnitřním průměru pak třemi o-kroužky doplněnými BK kroužky. Toto řešení umožňuje kompletní výměnu těsnění, bez nutnosti demontáže víka.

U nadzemních armatur je odvzdušnění víka nově řešeno přivařeným nátrubkem s G závitem, kovovým těsněním a pojistkou pro odpuštění přetlaku při demontáži.

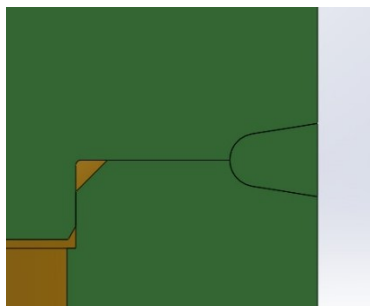
Ve víku je zhotovena díra s NPT závitem a zátkou, pro usnadnění montáže ucpávkové vložky s o-kroužky, přepuštění přebytečného vzduchu z ložiskového prostoru a případné doplnění maziva při cyklování. Při navařování manipulačních ok může docházet k deformací fixujících ploch víka (závit, dosedací plocha), z toho důvodu se přivaření nosných ok bude provádět až po zavaření hlavního víkového spoje.

## 2.5 Sestava výrobku

Prvotní design uložení sestavy víka s tělesem byl řešen následovně:

- a) Vzájemné uložení tělesa-víka volit s přesahem;
- b) stehování před svařením provádět proti sobě;
- c) odlehčovací drážka ve víku.

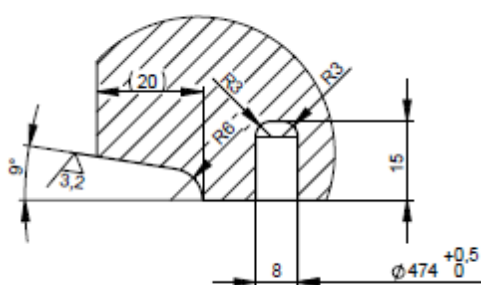
Mnou prvotně zvolený design svarové úpravy uložení tělesa a víka jsem volil s vůlí (viz obrázek 2.6), z důvodu zachování možnosti snadné demontáže víka a přelapování těsnících ploch klínu, pokud by došlo ke zjištění netěsností u tlakových zkoušek. V tomto případě se tlakové zkoušky měly provádět s nesvařeným pláštěm těsněným rohovým o-kroužkem. Přítlak víka k tělesu byl zabezpečován přípravkem využívajícím vrchního límce tělesa.



Obrázek 2.6 – Detail svarového spoje

## Uvažované možnosti svarových úprav:

- a) Víko našroubované do tělesa a pojištěno těsnícím svarem. Délka funkčního závitu má dopad na zvětšení polotovaru víka a tím i na cenu součásti. Jako další mínusový bod jsem vyhodnotil možný korozní úbytek v závitové části a tím možnost nestability pevnosti tlakové obálky.
- b) Svarové úpravy víka s odlehčovací drážkou měly snížit pnutí ve víku a svarovém spoji, viz obrázek 2.7. Odlehčovací drážka v tomto případě neměla smysl. Deformace po svaření nejsou tak velké, aby drážky měly vliv na jejich zmenšení.



Obrázek 2.7 – Svarové úpravy víka s odlehčovací drážkou

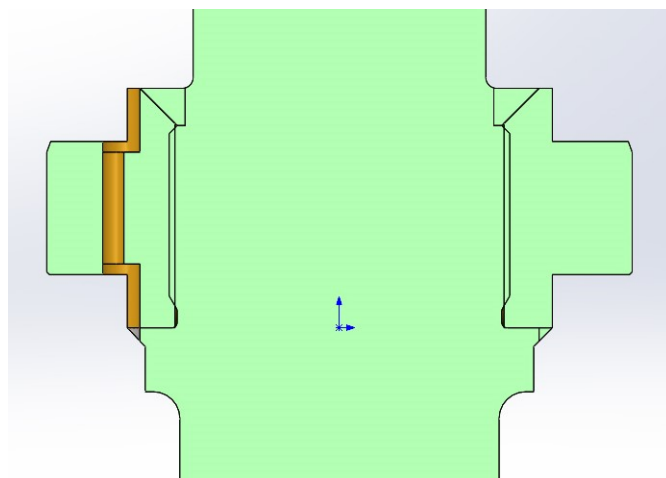
Oproti původním návrhům došlo ke zhotovení závitového spoje mezi díly těleso-víko, které je ověřeno výpočtem v bodě 3.6. Závit slouží jako pevnostní spoj do tlaku 1.1 násobku PN a zároveň jako odlehčení svarového spoje dimenzovaného na tlakovou zkoušku 1,5 násobku PN. Jako o hlavním pevnostním spoji jsem uvažoval o svarovém spoji, který je ověřen výpočtem v bodě 3.8. Středění víka je realizováno pomocí válcové plochy za závitem. Spoj bude využit v kombinaci s o-kroužkem při zkoušce těsnosti uzávěru a nahrazuje původní řešení s použitím zkušebního přípravku a límce na tělese.

Nevýhodou řešení je zvětšení polotovaru víka a náročnost výroby závitového spoje. Výhodou je vyšší tuhost a pevnost víka, pojištění svarového spoje a zjednodušený postup zkoušek.

## 2.6 Vřeteno

Prvotně navržené vřeteno bylo tvořeno ze dvou částí, a to zejména z důvodu velkých rozdílů v průměrech. To zaručovalo snížení nákladu na polotovar a obrábění. Tyto části byly vůči sobě sešroubovány a pojištěny svarem (viz obrázek 2.8). Drážka ve vřetenu měla pomáhat úniku vzduchu při montáži z části nad vřetenem a zároveň měla sloužit k rovnoměrnému rozprostření ložiskového maziva.

Vybíral jsem ze dvou materiálových variant vřetena: ASTM A 276 410T a ASTM A 182 F321.



**Obrázek 2.8 – Prvotní návrh vřetene**

Ve finálním řešení po konzultaci se svářecím technologem jsem rozhodl o náhradním polotovaru z jednoho kusu, a to z důvodů obtížné svařitelnosti oceli s 13% Cr. Jako polotovar vřetene jsem následně volil mezi tvarovým výkovkem nebo kovanou tyčí.

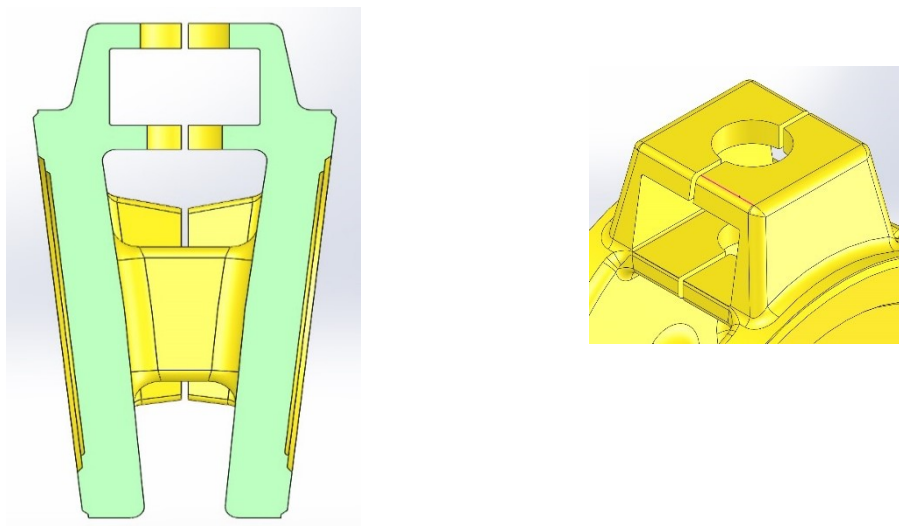
Z důvodu nízkého počtu kusů jsem pro tento případ jako polotovar vybral kovaná tyč. Při objednávce vyššího počtu kusů je na zvážení, zda nevyužít výhod tvarového výkovku. Vrtání pro rozvod mazání je z technologických důvodů realizováno pomocí kanálku.

Z důvodů specifického a technologického požadavku na chemické složení materiálu vřetene (min. 13% Cr), byla volena jakost X17CrNi16-2. Jeho kompletní výpočet se nachází v bodě 3.2.

## **2.7 Klín**

Prvotní a zároveň finální návrh klínu je litý s vřetenovou maticí uloženou v závěsu, který z důvodů technologických možností výroby a snažší obrobiteľnosti bude v designu dle obrázku 2.9.

Těsnící plochy jsou navrženy na maximální diferenční tlak  $P_{dif}$ . Klín je vyroben z odlitku G20Mn5 (1.6220) dle 10213.



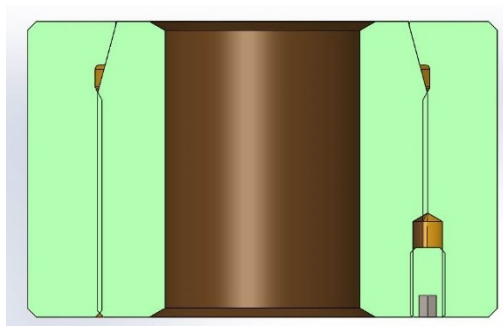
**Obrázek 2.9 – Prvotní a zároveň finální návrh klínu**

## **2.8 Vřetenová matice**

Vřetenová matice je tvořená za dvou částí vzájemně sešroubovaných do kónusu a pojištěných proti samovolnému povolení.

Uložení vřetenové matice v závěsu klínu je koncipováno v závislosti na velikosti odtrhového momentu s kónusovým ukončením směrem nahoru (obrázek 2.10), které zabezpečí spojení částí.

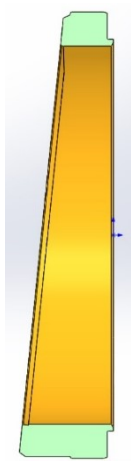
Vřetenovou maticí jsem zvolil z plechu P355NL1 dle 10029.



**Obrázek 2.10 – Uložení vřetenové matice v závěsu**

## 2.9 Sedlo

Těsnicí plochy sedel jsou navrženy pro maximální diferenční tlak  $P_{dif}$ . S ohledem na ovládací moment je volen úkos 1:10. Standardem API armatur jsou vkládaná sedla pod úkosem do tělesa. Úkos 1:10 však dělá velké problémy se svarovou úpravou těsnicího svaru, kdy profily svaru s horní a dolní pozicí jsou diametrálně odlišné a tato odlišnost je často napadána u přejímačů. Proto je zvolen design sedla lisovaného a je pojištěné svarem, který je vysoustružen kolmo na osu průtoku, viz obrázek 2.11.



Obrázek 2.11 – Sedlo



### 3 Pevnostní kontrola dílu a výpočet celosvařovaného klínového šoupátka

Většina základních rozměrů a údajů jako minimální tloušťka stěny tělesa a víka, minimální průměry vřetene, minimální dráha opotřebení klínu, rozměry ucpávkové komory vřetene, volba materiálu a tvrdostí vřetene, vložky zpětného uzávěru, těsnících ploch, jsou dány normou API 600 a navazujícími normami.

Každá armatura musí být před odesláním zákazníkovi zkoušená v konečném smontovaném stavu. Kvalita vnější obálky výrobku a bezpečnost se ověřuje pomocí talkové zkoušky, kdy je šoupátko vystaveno tlaku  $P_{zk}$ , který je roven  $1,5 \times P_N$ .

Odnímatelné a vyměnitelné vnitřní části šoupátka, které přicházejí do styku s průtokovým médiem, jsou společně označovány jako TRIM. Tyto díly zahrnují sedlo, klín, vřeteno, těleso, víko a ty součásti, které přicházejí do styku s průtokovým médiem. Odolnost TRIM je určena chemickou odolností a tvrdostí uvedených součástí a jejich stykových ploch. TRIM může být volen v několika materiálových kombinacích. Každá z variant má různé vlastnosti, které jsou nezbytné pro odolávání různých sil a proti chemickým reakcím. Materiály mohou, ale nemusí být ze stejného materiálu jako těleso jednotlivých dílů.

V mém případě jsem zvolil TRIM 5, určený pro vysokotlaký, mírně erozivní a korozivní provoz. Vynikající pro vysokotlaké vodní a parní provozy.

Klínové šoupátko jsem vytvořil tak, aby byl diferenční tlak  $P_{dif}$  roven pracovnímu tlaku.

#### **Zadané hodnoty:**

##### Provozní tlak:

$$P = 10,2 \text{ MPa}$$

##### Diferenční tlak:

$$P_{dif} = 10,2 \text{ MPa}$$

##### Dovolený měrný tlak pro plochy sedel (TRIM 5):

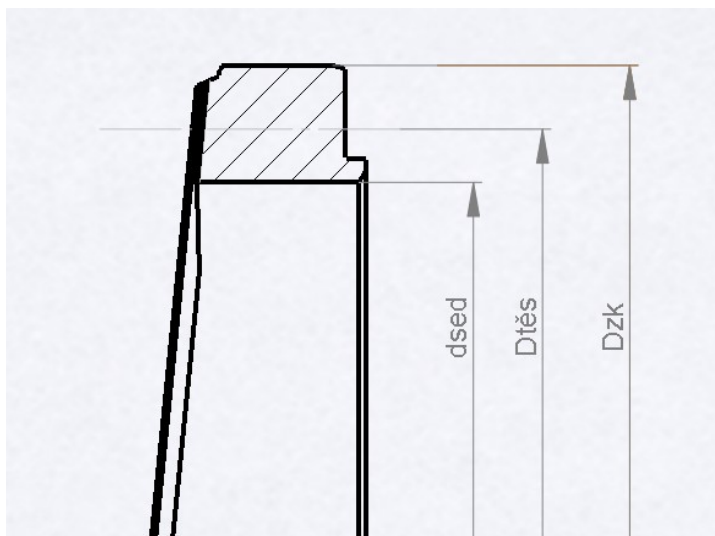
$$P_{tr} = 80 \text{ MPa}$$

##### Zkušební tlak:

$$P_{zk} = 15,3 \text{ MPa}$$

### 3.1 Určování rozměru sedel

Sedlo je standardizováno dle standardů API. Volím pouze hlavní parametry, vše ostatní striktně udává norma.



Obrázek 3.1 – Parametry sedla

Vnitřní rozměr sedla:

$$d_{sed} = 309 \text{ mm} \quad (3.1.1)$$

Vnější průměr sedla:

$$D_{zk} = \frac{d_{sed} \cdot (P_{dif} + 2 \cdot P_{tr})}{2 \cdot P_{tr} - P_{dif}} \quad (3.1.2)$$

$$D_{zk} = \frac{309 \cdot (10,2 + 2 \cdot 80)}{2 \cdot 80 - 10,2}$$

$$D_{zk} = 351,08 \text{ mm}$$

Navrhnutý vnější průměr sedla:

$$D_{zk} = 351 \text{ mm} \quad (3.1.3)$$

Těsnicí průměr sedel:

$$D_{tēs} = \frac{D_{zk} + d_{sed}}{2} \quad (3.1.4)$$

$$D_{tēs} = \frac{351 + 309}{2}$$

$$D_{tēs} = 330 \text{ mm}$$

Šířka sedla:

$$h_{sed} = \frac{D_{zk} - d_{sed}}{2} \quad (3.1.5)$$

$$h_{sed} = \frac{351 - 309}{2}$$

$$h_{sed} = 21 \text{ mm}$$

### **Ovládací síla a moment**

Ovládací síla a moment jsou předběžně zadány v požadavcích na klínové šoupátko. Tyto hodnoty byly vypočteny interním programem SOUP.xls. Poprvé jsem počítal šoupátko s menším průměrem vřetene, výsledky však nebyly vyhovující. Vypočtené napětí neodpovídalo požadovaným výsledkům. Proto jsem zvolil větší průměr vřetene, z kterého vyplynula níže uvedená ovládací síla a ovládací moment. S měnicí se ovládací silou jsem musel změnit také rozměry sedel a ložisek.

Ovládací moment:

$$M_o = 1658 \text{ Nm} \quad (3.1.6)$$

Ovládací síla:

$$F_{ovl} = 268 \text{ kN} \quad (3.1.7)$$

## **3.2 Kontrola vřetene**

V případě, který řeším, je důležitou součástí vřeteno, které přenáší krouticí moment mezi pohonem a klínem.

### **Zatížení vřetene**

Bezpečnostní faktor pro ovládání:

$$k_{ov} = 1,3$$

Ovládací moment vřetene:

$$M_v = M_o \cdot k_{ov} = 1658 \cdot 1,3 = 2155,1 \text{ Nm} \quad (3.2.1)$$

Ovládací síla vřetene:

$$F_{vř} = F_{ovl} \cdot k_{vř} = 268 \cdot 1,3 = 348,4 \text{ kN} \quad (3.2.2)$$

## **Zvolený materiál vřetene**

Jako materiál vřetene jsem zvolil ocel X17CrNi16-2, je vhodná pro vysoce namáhané strojní dílce. Obrobitelnost je značně závislá na tvrdosti, která bývá vyšší i po žíhání. Obrobitelnost ovlivňuje též vyšší houževnatost.

$$R_m = 800 \text{ MPa}$$

$$R_e = 600 \text{ MPa}$$

## **Dovolené namáhání vřetena**

Membránové napětí:

$$\sigma_{vř} = \min \left( \frac{R_e}{1,5} \text{ nebo } \frac{R_m}{2,4} \right) - \text{pro výkovky} \quad (3.2.3)$$

$$\sigma_{vř} = \min \left( \frac{600}{1,5} \text{ nebo } \frac{800}{2,4} \right)$$

$$\sigma_{vř} = 333,3 \text{ MPa}$$

Smykové napětí vřetena:

$$\tau_{vř} = \frac{\sigma_{vř}}{\sqrt{3}} \quad (3.2.4)$$

$$\tau_{vř} = \frac{333,33}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{vř} = 191,3 \text{ MPa}$$

Redukované napětí vřetena:

$$\sigma_{red.vř} = k_{ov} \cdot \sigma_{vř} \quad (3.2.5)$$

$$\sigma_{red.vř} = 1,3 \cdot 333,33$$

$$\sigma_{red.vř} = 433,3 \text{ MPa}$$

## **Geometrie vřetena**

Délka závitu vřetene volím  $l_{zav} = 470 \text{ mm}$

## **Geometrie pohybového závitu**

Závít vřetene volím  $d_{zav} = 2'' - 4 \text{ ACME} - 2G - LH \text{ ASME B16.5}$

Malý průměr závitu  $d_{3 vř} = 43,05 \text{ mm}$

## Závít pohybového šroubu

### Parametry šroubu:

**Tabulka 3.1 – Parametry metrického závitu**

velký $\varnothing$ závitu	d	<b>50,484</b>	mm
střední $\varnothing$ závitu	$d_2$	<b>46,743</b>	mm
malý $\varnothing$ závitu	$d_1$	<b>44,769</b>	mm
$\varnothing$ jádra závitu	$d_3$	<b>43,05</b>	mm
stoupání	s	<b>6,35</b>	mm
délka závitu	l	<b>68</b>	mm

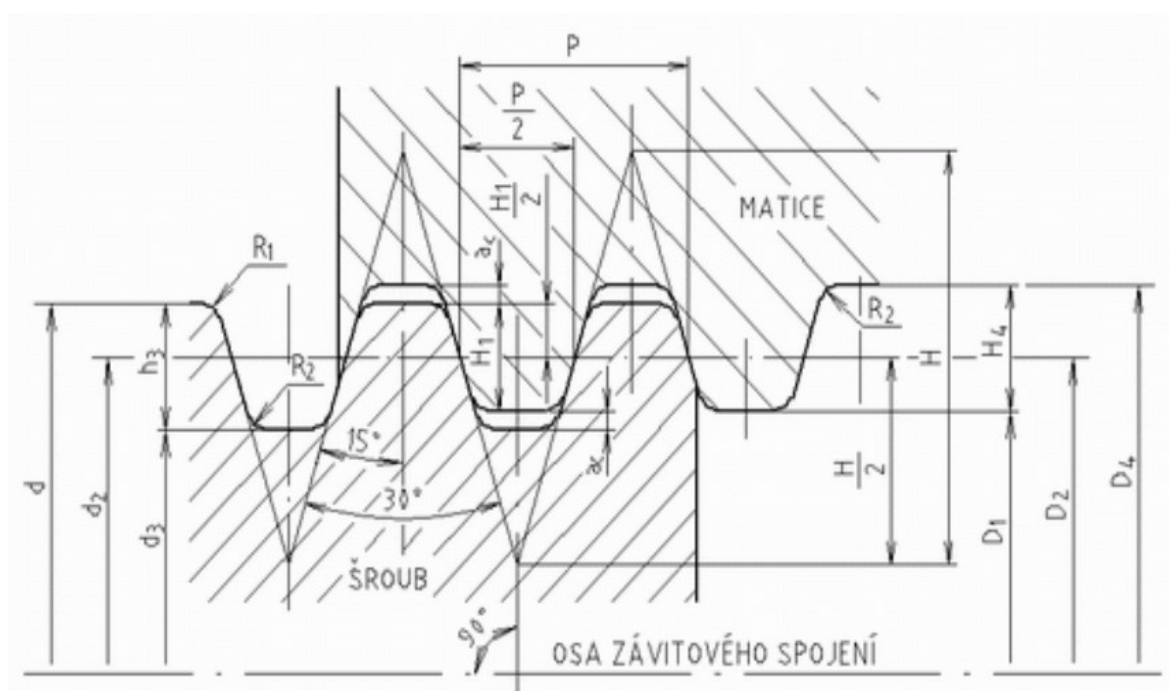
### Parametry matice:

**Tabulka 3.2 – Parametry metrického závitu**

velký $\varnothing$ závitu	D = d	50,484	mm
střední $\varnothing$ závitu	$D_2 = d_2$	46,743	mm
malý $\varnothing$ závitu	$D_1$	44,769	mm
stoupání	s	6,35	mm

### Geometrie závitu:

Tvar závitu je dán závitovou plochou, která vzniká navinutím profilu na válec podél šroubovice v daném stoupání.



**Obrázek 3.2 – Profil lichoběžníkového závitu**

**Tabulka 3.3 – Parametry metrického závitu**

počet chodů		<b>1</b>	<b>[-]</b>
úhel boku	$\alpha_1$	15	<b>[°]</b>
úhel boku	$\alpha_2$	15	<b>[°]</b>
výpočtový $\varnothing$	$d_{vyp}$	44,897	mm
rozteč	$t$	6,35	mm
počet závitů	$z$	10	<b>[-]</b>
nosná hloubka	$H_1$	2,8575	mm
teoretická výška	$H$	5,728	mm
nosný průřez šroubu	$a$	4,269	mm
nosný průřez matice	$a_1$	5,249	mm

Materiálové vlastnosti závitu:

**Tabulka 3.4 – Mechanické vlastnosti lichoběžníkového závitu**

mez kluzu	Re	<b>170</b>	MPa
bezpečnost	k	<b>1,5</b>	<b>[-]</b>
dovolené (v tahu)	$\sigma_D$	113	MPa
dovolené ve střihu	$0,577 \cdot \sigma_D$	65	MPa
dovolené v tlaku	$0,7 \cdot R_e$	102	MPa

Kontrola závitu na otláčení:

$$p = \frac{F_A}{S_p} = \frac{F_A}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d-D_1}{2} \cdot z} \quad (3.2.6)$$

$$p = \frac{348400}{\pi \cdot 46,743 \cdot \frac{50,484-44,769}{2} \cdot 10}$$

$$p = 83 \text{ MPa}$$

Výpočet pro minimální počet závitu:

$$z \geq \frac{F_a}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} \quad (3.2.7)$$

$$z \geq \frac{348400}{\pi \cdot 46,743 \cdot 2,8575 \cdot 113}$$

$$z \geq 8,1 \text{ závitu}$$

- minimální počet závitu je stanovený na 9 závitech

Kontrola závitů matice na střih:

$$\tau_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_a}{\pi \cdot D \cdot a_1 \cdot z} \quad (3.2.8)$$

$$\tau_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{349400}{\pi \cdot 50,484 \cdot 5,249 \cdot 10}$$

$$\tau_s = 62,9 \text{ MPa}$$

**Kontrola vřetena**

Osová napětí ve vřetenu:

$$\sigma_{o.vř} = \frac{F_{vř} \cdot 1000}{\frac{\pi}{4} \cdot d_3 \cdot vř^2} \quad (3.2.9)$$

$$\sigma_{o.vř} = \frac{348,4 \cdot 1000}{\frac{\pi}{4} \cdot 43,05^2}$$

$$\sigma_{o.vř} = 239,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{vř} \geq \sigma_{o.vř} - \text{podmínka splněná}$$

Kрут ve vřetenu:

$$\tau_{k.vř} = \frac{M_{vř} \cdot 1000}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3 \cdot vř^3} \quad (3.2.10)$$

$$\tau_{k.vř} = \frac{2155,1 \cdot 1000}{\frac{\pi}{16} \cdot 43,05^3}$$

$$\tau_{k.vř} = 137,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{vř} \geq \tau_{k.vř} - \text{podmínka splněná}$$

Redukované napětí vřetena:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_{o.vř}^2 + 4 \cdot \tau_{k.vř}^2} \quad (3.2.11)$$

$$\sigma_r = \sqrt{239,4^2 + 4 \cdot 137,4^2}$$

$$\sigma_r = 364,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red.vř} \geq \sigma_r - \text{podmínka splněná}$$

## Kontrola závěsu vřetena

Výpočet otláčení závěsu vřetena:

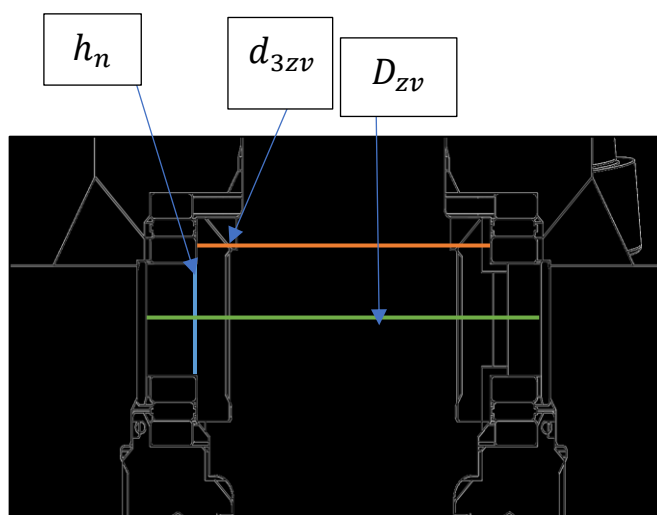
$$p = \frac{R_e}{1,05} \quad - \text{ tento vztah platí pro výkovek} \quad (3.2.12)$$

$$p = \frac{550}{1,05}$$

$$p = 523,8 \text{ MPa}$$

Geometrie závěsu vřetena:

- volím nosnou výšku  $h_n = 25 \text{ mm}$
- volím malý průměr  $d_{zv} = 80 \text{ mm}$
- volím velký průměr  $D_{zv} = 107 \text{ mm}$



Obrázek 3.3 - Popis uložení vřetena ve víku

Minimální malý průměr vřetene musí být 80 mm, tato podmínka je splněna. Stejná podmínka platí i pro velký průměr vřetena, který se rovná 107 mm. Parametry vřetena jsou vidět na obr. 3.3. Správnost výsledku jsem ověřil výpočty.

Výpočet stříhového namáhání:

$$\tau_d = \frac{1000 \cdot F_o}{\pi \cdot d_{zv} \cdot h_n} \quad (3.2.13)$$

$$\tau_d = \frac{1000 \cdot 348,4}{\pi \cdot 80 \cdot 25}$$

$$\tau_d = 55,5 \text{ MPa}$$



Výpočet otláčení vřetene v uložení:

$$p = \frac{1000 \cdot F_{zv}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_{zv}^2 - d_{zv}^2)} \quad (3.2.14)$$

$$p = \frac{1000 \cdot 348,4}{\frac{\pi}{4} \cdot (107^2 - 80^2)}$$

$$p = 87,9 \text{ MPa}$$

- napětí ve vřeteni je vyhovující.

### 3.3 Kontrola klínu

Horní část klínu je vybavena takzvaným závěsem (obrázek 3.4), přes který je přenášena osová síla vyvozená v důsledku zvedání a spouštění klínu. Závěs slouží jako pouzdro, do kterého je vložena převlečená matice.

#### Zvolený materiál klínu

Jako materiál klínu jsem zvolil slévarenskou ocel pro tlakové nádoby 1.6220.

$$R_m = 485 \text{ MPa}$$

$$R_e = 250 \text{ MPa}$$

#### Dovolené namáhání klínu

Osové napětí závěsu klínu:

$$\sigma_{o.kl} = \min \left( \frac{R_e}{1,9} \text{ nebo } \frac{R_m}{3} \right) - \text{pro odlitky} \quad (3.3.1)$$

$$\sigma_{o.kl} = \min \left( \frac{250}{1,9} \text{ nebo } \frac{485}{3} \right)$$

$$\sigma_{o.kl} = 131,6 \text{ MPa}$$

Smykové napětí klínu:

$$\tau_{kl} = \frac{\sigma_{o.kl}}{\sqrt{3}} \quad (3.3.2)$$

$$\tau_{kl} = \frac{131,6}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{kl} = 76 \text{ MPa}$$

Redukované napětí vřetena:

$$\sigma_{red.kl} = k_{ov} \cdot \sigma_{o.kl} \quad (3.3.3)$$

$$\sigma_{red.kl} = 1,3 \cdot 131,6$$

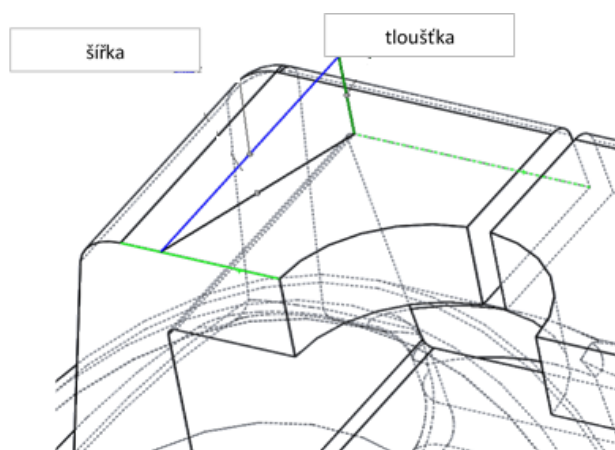
$$\sigma_{red.kl} = 171,1 \text{ MPa}$$

### **Geometrie klínového závěsu**

Tloušťku závěsu volím  $s_z = 23 \text{ mm}$

½ šířky závěsu volím  $b_z = 65 \text{ mm}$

Tloušťku stěny závěsu volím  $c = 27 \text{ mm}$



**Obrázek 3.4 – Geometrie klínového závěsu**

### **Kontrola závěsu klínu**

Výpočet stříhového namáhání:

$$\tau_d = \frac{1000 \cdot \frac{F_{kl}}{4}}{s_z \cdot b_z} \quad (3.3.4)$$

$$\tau_d = \frac{1000 \cdot \frac{348,4}{4}}{23 \cdot 65}$$

$$\tau_d = 58,3 \text{ MPa}$$

### Výpočet namáhání závěsu klínu:

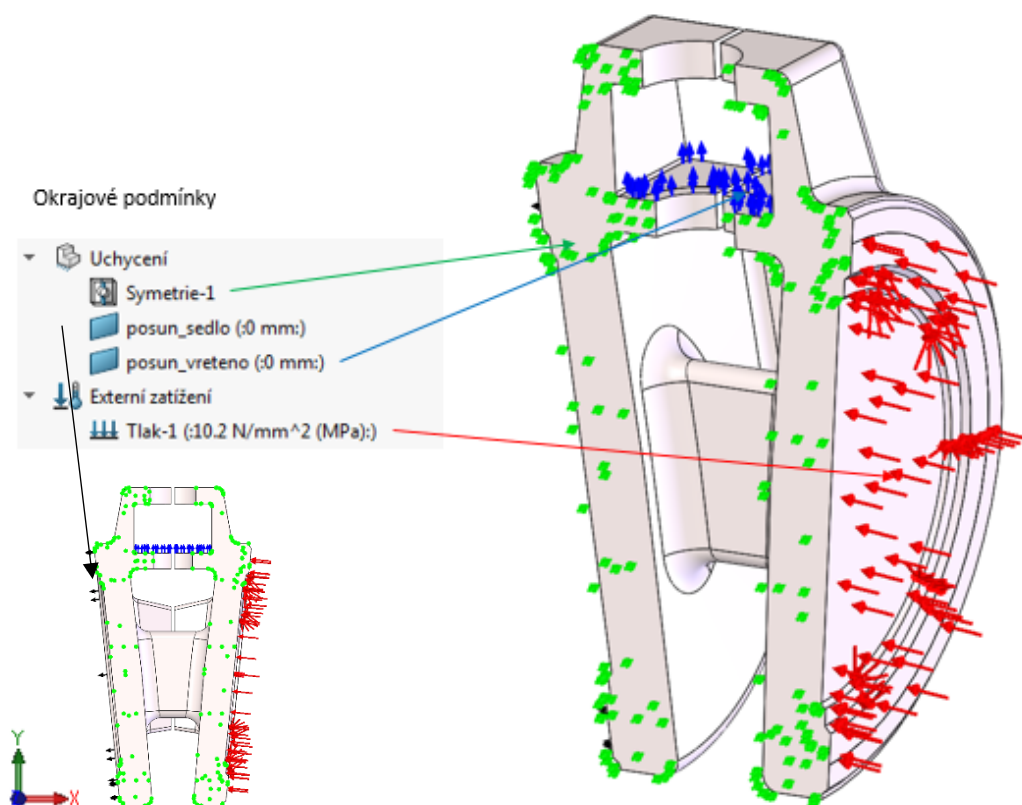
$$\sigma_d = \frac{1000 \cdot \frac{F_{kl}}{4}}{c \cdot b_z} \quad (3.3.5)$$

$$\sigma_d = \frac{1000 \cdot \frac{348,4}{4}}{27 \cdot 65}$$

$$\sigma_d = 49,6 \text{ MPa}$$

### Pevnostní kontrola klínu:

Model jsem vytvořil v programu SolidWorks a simulace probíhala v modulu SolidWorks Simulation 2017. Okrajové podmínky jsou zobrazeny na obrázku 3.5, simuloval jsem ½ modelu klínu. Klín je zatížen pracovním tlakem 10,2 MPa (červené šipky). Úroveň řezu *z* je definovaná podmínkou symetrie (zelené šipky). Zamezení ve směru kolmém k ploše styku „sedlo-klín“ (černé šipky). Zamezení posuvu v ose *y* (modré šipky).

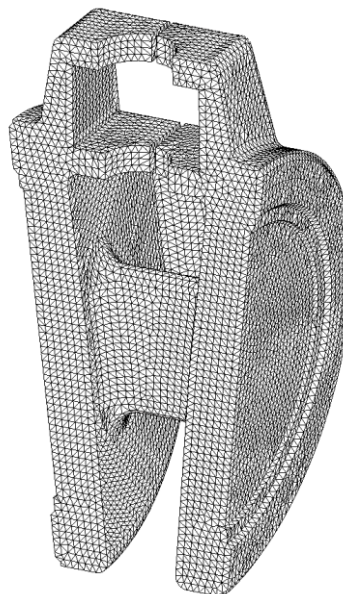


**Obrázek 3.5 – Okrajové podmínky a vstupní zatížení**

### Nastavení sítě:

Na obrázku 3.6 je vyobrazen síťový model podpořený informací o nastavení sítě.

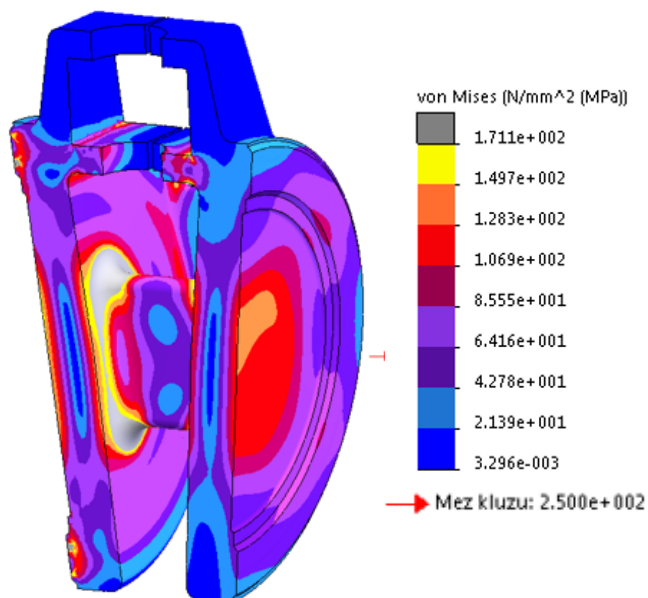
Název studie	zaves (-Výchozí-)
Typ sítě	Objemová síť
Použité síťování	Standardní síť
Automatické zjemnění	Vypnuto
Včetně automatického cyklování	Vypnuto
Jakobiho body	4 body(ů)
Velikost elementu	6 mm
Tolerance	0.3 mm
Kvalita sítě	Vysoká
Uzlů celkem	270682
Elementů celkem	184765
Maximální poměr stran	17.764
Procenta elementů s poměrem stran < 3	99.3
Procenta elementů s poměrem stran > 10	0.0363
% deformovaných elementů (Jakobi)	0
Doba dokončení sítě (hh:mm:ss)	00:00:12
Název počítače	PP0010



**Obrázek 3.6 – Vysít'ovaný model klínu**

### Simulace napětí:

Zobrazená úroveň napětí je pro pružný klín běžná. Dovolené membránové namáhání pro materiál 1.6220 je 131,6 MPa. Dovolené redukované napětí je 171,1 MPa. Na obrázku 3.7 je zobrazena MKP kontrola. Zobrazené hodnoty přesahující dovolené napětí jsou pouze povrchové a nemají vliv na funkčnost a životnost.



**Obrázek 3.7 - Namáhání klínu a závěsu klínu pracovním tlakem proudícím v potrubí**

### 3.4 Kontrola tělesa

Těleso jsem podrobil kontrole jako tlakovou obálku. Prověřoval jsem tloušťky stěn u hlavních namáhaných průměrů. Pro potřeb zkoušek musí být těleso předimenzováno, aby v případě havárie nedošlo k poškození tlakové obálky.

#### Zatížení

Provozní tlak:  $P = 10,2 \text{ MPa}$

Zkušební tlak:  $P_{zk} = 15,3 \text{ MPa}$

Zvolený materiál klínu:

Jako materiál tělesa jsem zvolil slévarenskou ocel pro tlakové nádoby 1.6220

$$R_m = 485 \text{ MPa}$$

$$R_e = 250 \text{ MPa}$$

#### Dovolené namáhání tělesa

Membránové napětí pro provozní tlak:

$$\sigma_{prov} = \min \left( \frac{R_e}{1,9} \text{ nebo } \frac{R_m}{3} \right) - \text{pro odlitky} \quad (3.4.1)$$

$$\sigma_{prov} = \min \left( \frac{250}{1,9} \text{ nebo } \frac{485}{3} \right)$$

$$\sigma_{prov} = 131,6 \text{ MPa}$$

Membránové napětí pro zkoušku:

$$\sigma_{zk} = \frac{R_e}{1,33} - \text{tento vztah platí pro odlitek} \quad (3.4.2)$$

$$\sigma_{zk} = \frac{250}{1,33}$$

$$\sigma_{zk} = 188 \text{ MPa}$$

Redukované napětí klínu:

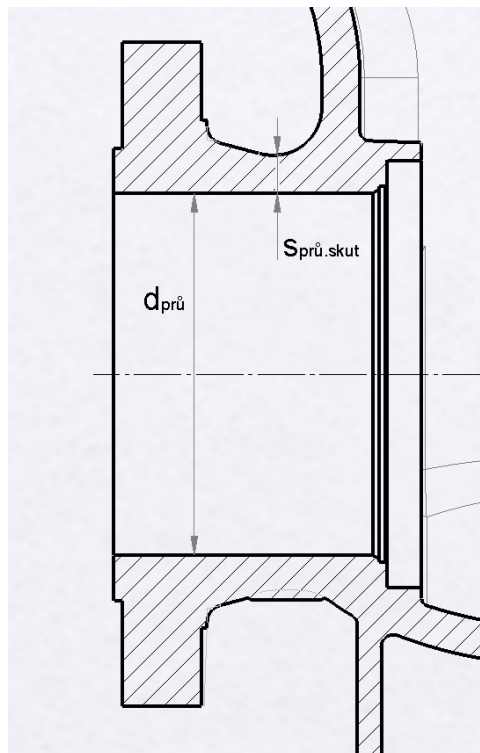
$$\sigma_{red.kl} = k_o \cdot \sigma_{prov} \quad (3.4.3)$$

$$\sigma_{red.kl} = 1,3 \cdot 131,6$$

$$\sigma_{red.kl} = 171,1 \text{ MP}$$

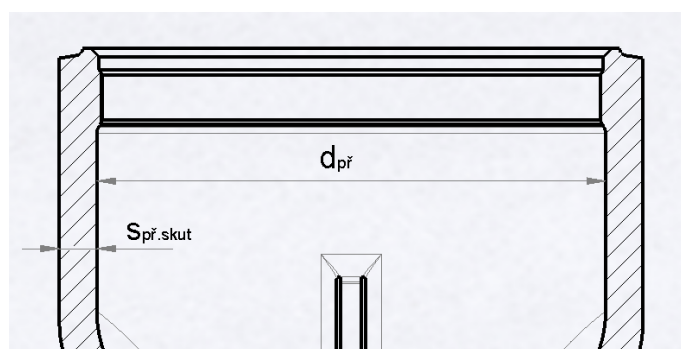
## Geometrie tělesa

Vnitřní průměr průtoku tělesa volím  $d_{prů} = 305\text{ mm}$



Obrázek 3.8 – Detail průtoku tělesa

Vnitřní průměr víkového spoje tělesa  $d_{př} = 436\text{ mm}$



Obrázek 3.9 – Detail víkového spoje tělesa

## Kontrola tělesa

### Tloušťka stěny průtoku:

- pro provozní podmínky

$$s_{prû.p} = \frac{P \cdot d_{prû}}{2 \cdot \sigma_{prov} - P} + 1 \quad (3.4.4)$$

$$s_{prû.p} = \frac{10,2 \cdot 305}{2 \cdot 131,6 - 10,2} + 1$$

$$s_{prû.p} = 13,3 \text{ mm}$$

- pro zkušební podmínky

$$s_{prû.z} = \frac{P_{zk} \cdot d_{prû}}{2 \cdot \sigma_{zk} - P_{zk}} \quad (3.4.5)$$

$$s_{prû.z} = \frac{15,3 \cdot 305}{2 \cdot 188 - 15,3}$$

$$s_{prû.z} = 13,9 \text{ mm}$$

- skutečnou tloušťku stěny volím  $s_{prû.skut} = 32 \text{ mm}$

### Tloušťka stěny příruby:

- pro provozní podmínky

$$s_{př.p} = \frac{P \cdot d_{př}}{2 \cdot \sigma_{prov} - P} + 1 \quad (3.4.6)$$

$$s_{př.p} = \frac{10,2 \cdot 436}{2 \cdot 131,6 - 10,2} + 1$$

$$s_{př.p} = 18,6 \text{ mm}$$

- pro zkušební podmínky

$$s_{př.z} = \frac{P_{zk} \cdot d_{př}}{2 \cdot \sigma_{zk} - P_{zk}} \quad (3.4.7)$$

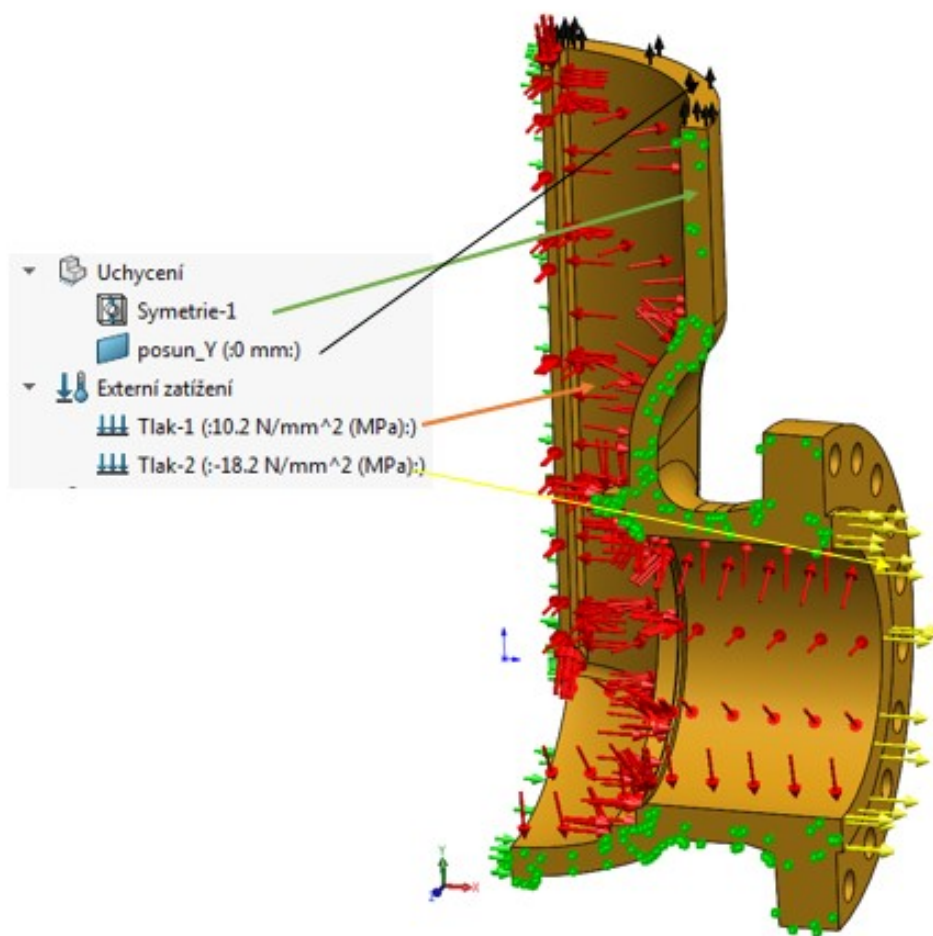
$$s_{př.z} = \frac{15,3 \cdot 436}{2 \cdot 188 - 15,3}$$

$$s_{př.z} = 18,5 \text{ mm}$$

- skutečnou stěnu příruby volím  $s_{př.skut} = 32 \text{ mm}$

### Pevnostní kontrola tělesa:

Model byl vytvořen v programu SolidWorks a simulace probíhala v modulu SolidWorks Simulation 2017. Simulována byla  $\frac{1}{4}$  modelu tělesa. Okrajové podmínky jsou zobrazeny na obrázku 3.10. Model je zatížen vnitřním tlakem 10,2 MPa, působícího na všechny vnitřní plochy (červené šipky). V rovině  $x,y$  a  $z,y$  jsou zadány podmínky symetrie (zelené šipky). Na ploše spoje “těleso-víko“ je zadána podmínka nulového posuvu ve směru  $y$  (černé šipky). Na ploše příruby je zadána podmínka tlaku působícího ve směru osy  $x$  (žluté šipky).



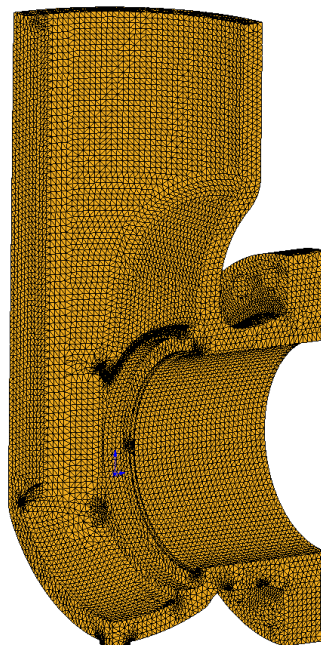
**Obrázek 3.10 – Zobrazení okrajových podmínek a vstupním zatížením**



### Nastavení sítě:

Na obrázku 3.11 je vyobrazen síťový model podpořený informací o nastavení sítě.

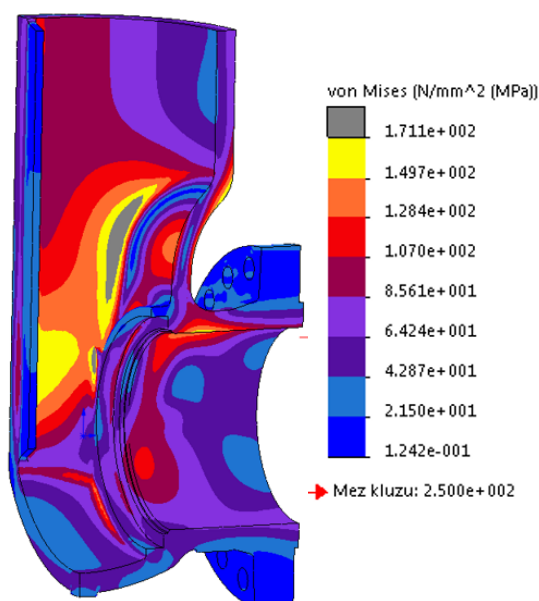
Název studie	teleso (-Výchozí-)
Typ sítě	Objemová síť
Použité síťování	Standardní síť
Automatické zjemnění	Zapnuto
Včetně automatického cyklování	Vypnuto
Jakobiho body	4 body(ů)
Velikost elementu	8 mm
Tolerance	0.4 mm
Kvalita sítě	Vysoká
Uzlů celkem	443158
Elementů celkem	299078
Maximální poměr stran	27.579
Procenta elementů s poměrem stran < 3	99.4
Procenta elementů s poměrem stran > 10	0.00368
% deformovaných elementů (Jakobi)	0
Doba dokončení sítě (hh:mm:ss)	00:00:22
Název počítače	PP0010



**Obrázek 3.11 – Vysíťovaný model tělesa**

### Simulace napětí:

Zobrazená úroveň napětí je pro pružné těleso běžná. Dovolené membránové namáhání pro materiál 1.6220 je 131,6 MPa. Dovolené redukované napětí je 171,1 MPa. Zobrazené hodnoty přesahující dovolené napětí jsou pouze povrchové a nemají vliv na funkčnost a životnost.



**Obrázek 3.12 – Detail napětí na vnitřní plochy tělesa**

## Kontrola závitu

U klínového šoupátka je zapotřebí provést kontrolu klíčových závitu. Níže jsou uvedené typy a rozměry závitu, které jsem zvolil a poté podrobil výpočtům. Především se jedná o závity metrické.

### Závit “těleso – víko“

Jak je z názvu zřejmé, tento typ závitu se nachází mezi tělesem a víkem, kde plní především pevnostní funkci.

#### Parametry šroubu:

**Tabulka 3.5. – Parametry metrického závitu**

velký $\varnothing$ závitu	d	<b>440</b>	mm
střední $\varnothing$ závitu	d <sub>2</sub>	<b>438,051</b>	mm
malý $\varnothing$ závitu	d <sub>1</sub>	<b>436,752</b>	mm
$\varnothing$ jádra závitu	d <sub>3</sub>	<b>436,319</b>	mm
stoupání	s	<b>3</b>	mm
délka závitu	l	<b>28</b>	mm

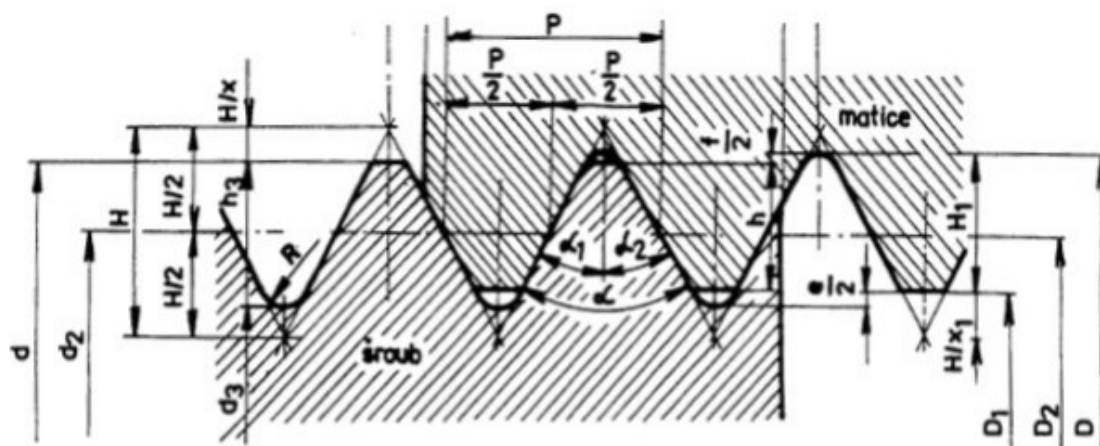
#### Parametry matice:

**Tabulka 3.6 – Parametry metrického závitu**

velký $\varnothing$ závitu	D = d	<b>440</b>	mm
střední $\varnothing$ závitu	D <sub>2</sub> = d <sub>2</sub>	<b>438,051</b>	mm
malý $\varnothing$ závitu	D <sub>1</sub>	<b>436,752</b>	mm
stoupání	s	<b>3</b>	mm

#### Geometrie závitu:

Tvar závitu je dán závitovou plochou, která vzniká navinutím profilu na válec podél šroubovice v daném stoupání.



Obrázek 3.13 – Profil metrického závitu

Tabulka 3.7 – Parametry metrického závitu

počet chodů		1	[-]
úhel boku	$\alpha_1$	30	[°]
úhel boku	$\alpha_2$	30	[°]
výpočtový $\varnothing$	$d_{\text{vyp}}$	437,185	mm
rozteč	t	3	mm
počet závitů	z	9	[-]
nosná hloubka	$H_1$	1,624	mm
teoretická výška	H	2,598	mm
nosný průřez šroubu	a	2,250	mm
nosný průřez matice	$a_1$	2,625	mm

Tabulka 3.8 – Mechanické vlastnosti metrického závitu

mez kluzu	Re	250	MPa
bezpečnost	k	1,9	[-]
dovolené v tlaku	$0,7 \cdot R_e$	173	MPa

Kontrola závitu na otláčení:

$$p = \frac{F_A}{S_p} = \frac{F_A}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot z} \quad (3.4.8)$$

$$p = \frac{1938831}{\pi \cdot 438,051 \cdot \frac{440 - 436,752}{2} \cdot 9}$$

$$p = 96,4 \text{ MPa}$$

- minimální délka nosného závitu je 27 mm

### 3.5 Kontrola víka

Víko je namáháno provozním tlakem na vnitřní plochy, proto na něm provádím sérii kontrolních výpočtu, kterými ověřuji její spolehlivost jak v provozu, tak při zkouškách. S tělesem je spojeno závitem a svarem, který plní úlohu těsnicího prvku.

#### Zatížení

Provozní tlak:  $P = 10,2 \text{ MPa}$

Zkušební tlak:  $P_{zk} = 15,3 \text{ MPa}$

#### Zvolený materiál víka

Jako materiál víka jsem zvolil nelegovanou konstrukční ocel 11 503 (P355NL1, Fe510D), slouží pro použití v atmosférické teplotě pod  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , vhodné pro svařování.

$$R_m = 470 \text{ MPa}$$

$$R_e = 315 \text{ MPa}$$

#### Dovolené namáhání víka

##### Membránové napětí:

$$\sigma_{prov} = \min\left(\frac{R_e}{1,5} \text{ nebo } \frac{R_m}{2,4}\right) - \text{pro výkovky} \quad (3.5.1)$$

$$\sigma_{prov} = \min\left(\frac{315}{1,5} \text{ nebo } \frac{470}{2,4}\right)$$

$$\sigma_{prov} = 195,8 \text{ MPa}$$

##### Zkouška:

$$\sigma_{zk} = \frac{R_e}{1,05} - \text{tento vztah platí pro výkovky} \quad (3.5.2)$$

$$\sigma_{zk} = \frac{315}{1,05}$$

$$\sigma_{zk} = 300 \text{ MPa}$$

#### Geometrie víka

Průměr víka volím  $D_{vik} = 500 \text{ mm}$

Tloušťku víka volím  $s_{vik} = 67 \text{ mm}$

## Kontrola víka:

Ověření tloušťky stěny víka pro pracovní tlak:

$$- s_{vik.p} = \sqrt{\frac{6}{\sigma_{prov} \cdot 1,5} \cdot P \cdot 3,3 \cdot \frac{\left(\frac{D_{vik}}{2}\right)^2}{16}} + 1 \quad (3.5.3)$$

$$s_{vik.p} = \sqrt{\frac{6}{195,8 \cdot 1,5} \cdot 10,2 \cdot 3,3 \cdot \frac{\left(\frac{500}{2}\right)^2}{16}} + 1$$

$$s_{vik.p} = 52,8 \text{ mm}$$

Ověření tloušťky stěny víka pro zkušební tlak:

$$- s_{vik.z} = \sqrt{\frac{6}{\sigma_{zk} \cdot 1,5} \cdot P_{zk} \cdot 3,3 \cdot \frac{\left(\frac{D_{vik}}{2}\right)^2}{16}} \quad (3.5.4)$$

$$s_{vik.z} = \sqrt{\frac{6}{300 \cdot 1,5} \cdot 15,3 \cdot 3,3 \cdot \frac{\left(\frac{500}{2}\right)^2}{16}}$$

$$s_{vik.z} = 51,3 \text{ mm}$$

- mnou zvolená tloušťka stěny 67 mm je vyhovující.

-

## 3.6 Kontrola svaru “těleso – víko“

### Zatížení

Provozní tlak:  $P = 10,2 \text{ MPa}$

Zkušební tlak:  $P_{zk} = 15,3 \text{ MPa}$

Zvolený svařovací materiál:

Svar je svařován drátem OK AUTRON 13.27, jedná se o poměděný nízkolegovaný drát pro svařování pod tavidlem jemnozrnných ocelí. Proces svařování probíhá v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.62 a to už od teplot -60 °C nebo -80 °C.

Chemické složení svarového kovu			
Mn	C	Si	Ni
1.02 %	0.10 %	0.14 %	2.19 %

Schválení:	CE; EN 13479; DB; 52.039.08; CZ; NAKS/HAKC; 2.5, 3.0, 4.0 mm; VdTÜV; 12103
Klasifikace:	SFA/AWS A5.23; ENi2; Wire Electrode; EN ISO 14171-A; S2Ni2; Wire Electrode

Obrázek 3.14 – Chemické složení svarového kovu

$$R_m = 485 \text{ MPa}$$

$$R_e = 250 \text{ MPa}$$

Při kontrole svaru se předpokládá, že je svar proveden vhodným přídavným materiálem, který zajistí v celé oblasti svaru mez pevnosti a kluzu větší, než jaká je požadována pro základní materiál.

#### Dovolené namáhání svaru

Membránové napětí pro provozní tlak:

$$\sigma_{o.kl} = \min\left(\frac{R_e}{1,5} \text{ nebo } \frac{R_m}{2,4}\right) - \text{pro výkovky} \quad (3.6.1)$$

$$\sigma_{prov} = \min\left(\frac{250}{1,5} \text{ nebo } \frac{485}{2,4}\right)$$

$$\sigma_{prov} = 166,7 \text{ MPa}$$

Membránové napětí pro zkušební tlak:

$$\sigma_{zk} = \frac{R_e}{1,05} \quad (3.6.2)$$

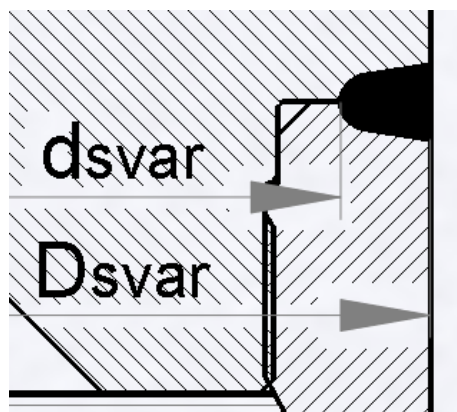
$$\sigma_{zk} = \frac{250}{1,05}$$

$$\sigma_{zk} = 238,1 \text{ MPa}$$

#### Geometrie svaru

Vnější průměr svaru volím  $D_{svar} = 500 \text{ mm}$

Průměr kořenu svaru volím  $d_{svar} = 460 \text{ mm}$



Obrázek 3.15 – Detail svaru “těleso-víko”

### Kontrola svarového spoje

Kontrola tloušťky svaru “těleso – víko” pro pracovní tlak:

$$s_{svar.p} = \frac{P \cdot d_{svar}}{2 \cdot \sigma_{prov} - P} + 1 \quad (3.6.3)$$

$$s_{svar.p} = \frac{10,2 \cdot 460}{2 \cdot 166,7 - 10,2} + 1$$

$$s_{svar.p} = 15,5 \text{ mm}$$

Kontrola tloušťky stěny víka pro zkušební tlak:

$$s_{svar.z} = \frac{P_{zk} \cdot d_{svar}}{2 \cdot \sigma_{zk} - P_{zk}} \quad (3.6.4)$$

$$s_{svar.z} = \frac{15,3 \cdot 460}{2 \cdot 238,1 - 15,3}$$

$$s_{svar.z} = 15,3 \text{ mm}$$

- mnou zvolená tloušťka svaru je 20 mm.

## 4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit změnu původní konstrukce šroubovaného klínového šoupátka se stoupavým vřetenem na šoupátko celosvařované. Dílčím cílem bylo poté vytvoření návrhu nestoupavého vřetene, a to z důvodů nedostatku volného prostoru nad víkem šoupátka. Dle zadání bakalářské práce byla navržena konstrukce klínového šoupátka v přírubovém provedení s celosvařovanou tlakovou obálkou a nestoupavým vřetenem. Armatura je určena pro přepravu zemního plynu.

Šoupátko, z kterého bylo vycházeno mělo stoupavé vřeteno, které bylo šroubované ručním kolem, nebo pohonem. Víko bylo k tělesu upevněno pomocí šroubů a matic. Ucpávka vřetene nebyla součástí víka, nýbrž jako samostatný komponent. V mé práci jsem umístil ucpávku vřetene do víka, čímž došlo ke zkrácení výšky šoupátka.

Prvotní návrh vřetene, které se mělo skládat ze dvou dílců byl nakonec vytvořen z jedné celistvé tyče a vybaveno pohyblivým závitem. Při otáčení vřetene se přenáší krouticí moment na převlečnou matici uloženou v klínu, čímž dochází ke zvedání klínu.

Nový návrh upravil stávající spojení těleso – víko. Víko s tělesem je nyní spojeno závitem a pojištěno svarem. Ve výpočtové části práce byly zkontrolovány mnou zvolené rozměry sedla vřetene závěsu klín, závěsu vřetene, tělesa a víka. Dále byla provedena MKP kontrola, která se týkala tělesa a klínu. V poslední části práce byla provedena kontrola závitu těleso – víko a pohybového závitu vřetene.

Cíle bakalářské práce byly splněny. Výkres sestavení a vybrané výkresy jsou přiloženy v příloze bakalářské práce.



Závěrem bych rád poděkoval Ing. Marku Vidlákoví ze společnosti MSA, a.s. Mé poděkování taktéž patří Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D. za cenné rady, ochotu a vedení při zpracování mé bakalářské práce.

## 5 Citace

- [1] ROČEK, Jaroslav.: *Průmyslové armatury: Teorie a praxe*. Praha: SNTL, Řada strojírenské literatury, 1975.
- [2] MSA a.s., MSA - Výrobce armatur. [online]. [cit. 12.04.2019]. Zdroj: <http://www.msa.cz/sortiment/>
- [3] STEINER, J., V. ČAJKOVSKÝ a K. DVOŘÁK. *Průmyslové armatury: Katalog 1957 : Určeno pro konstruktéry, investory, technology prům. strojíř., energetického, chem., hutního, potravinářského, jakož i pro projekční a obchodní organizace uvedených prům. odvětví*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958.
- [4] DEJL, Zdeněk.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000. ISBN 80-7225-018-3.
- [5] KALÁB, Květoslav.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – Části spojovací*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1290-8.
- [6] Havlík J, Moravec V.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava 2005, ISBN 80-248-0878-1.
- [7] NĚMČEK, Miloš.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. Vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
- [8] GUREVIČ, David Fajfušev, I. Ch CHAJKIN a V. V. ŠIRJAJEV. *Armatury jaderných elektráren: (technická příručka)*. Praha: Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1986.

## 6 Seznam příloh

označení	název	číslo dokumentu
Příloha A	KLÍNOVÉ ŠOUPÁTKO	VOL0081-SK2P-01
Příloha B	KLÍN	VOL0081-SK2P-01-03
Příloha C	VŘETENO	VOL0081-SK2P-01-04
Příloha D	ZÁVITOVÁ VLOŽKA	VOL0081-SK2P-01-06
Příloha E	CD obsahující text bakalářské práce	